



Emissionsfreier Ammoniak- Wasserstoff-Motor

Eine mögliche Alternative für heutige Bahnfahrzeuge
mit Dieselantrieb

2. Wasserstofftagung Rheinland-Pfalz 09.12.2023 | Deutsche Bahn AG, Daniel König

DB-Klimaziel | Seit der Verschärfung der gesetzlichen Regelungen zum Umweltschutz hat die DB ihr Klimaziel von 2050 auf 2040 vorgezogen.



2025

100 % erneuerbare Energien im stationären Bereich in Deutschland

2038

100% erneuerbare Energien im Traktionsstrommix der DB

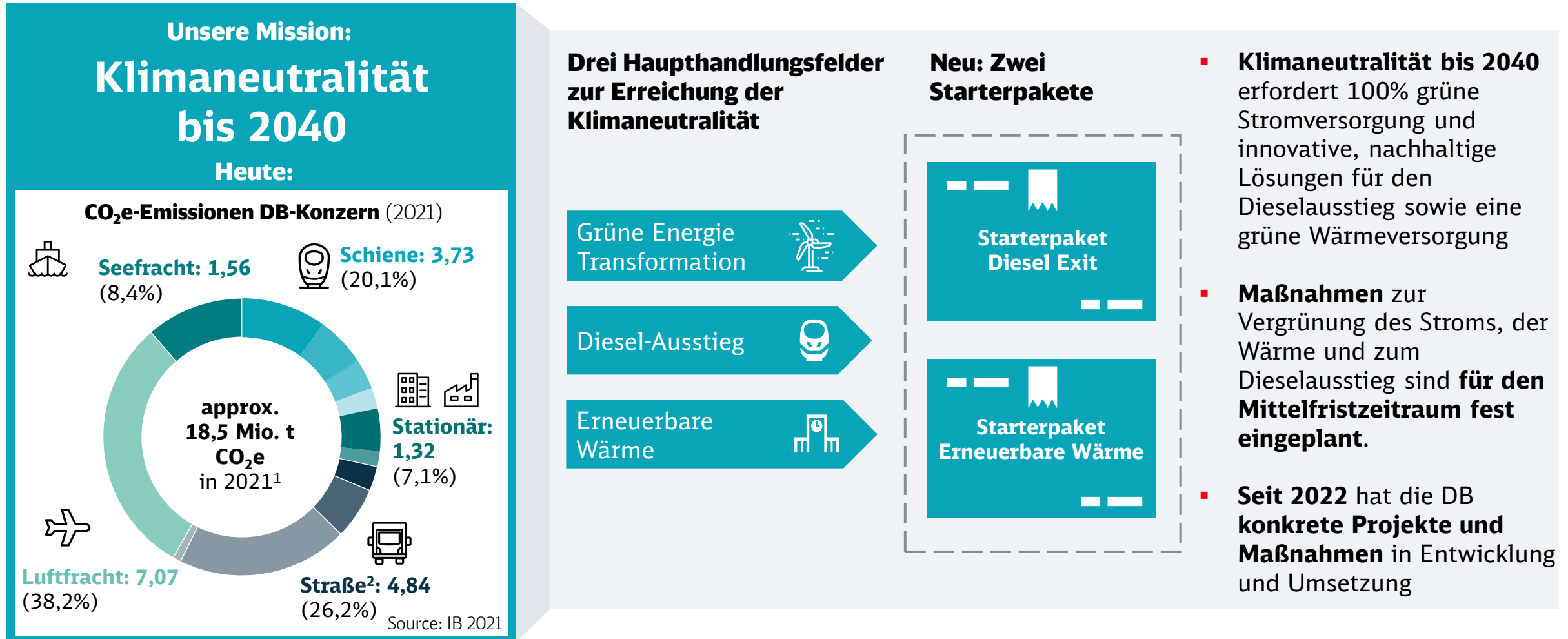
2040

Goal: Erreichung der Klimaneutralität für den gesamten DB Konzern



The building block "Environment and 100% green power"

Starterpakete | Drei Handlungsfelder und zwei Maßnahmenpakete tragen dazu bei, das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen



(1) 2020 etwa 16 Mio. t CO₂e wegen der CoVid-Pandemie, 2019 20 Mio. t CO₂e;
(2) inkl. Busverkehre und DB-Flottenfahrzeuge

Ausgangslage | Viele Dieselfahrzeuge müssen ersetzt oder umgerüstet werden. Dabei unterscheiden sich jedoch die Anforderungen verschiedener Dieselflotten.



- Regionalverkehr: 50%
- Schienengüterverkehr: 25%
- Baufahrzeuge Schiene: 22,5%
- Fernverkehr: 2,5%

Regionalverkehr

- Einsatzdauer ca. 30 Jahre
- Betankung nach ca. 1.000 km

Schienengüterverkehr

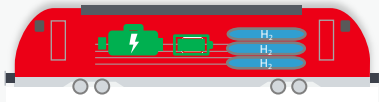
- Einsatzdauer ca. 45 Jahre
- Hohe Reichweiten und Leistungsanforderungen

Lösungsansätze | Grundsätzlich stehen vier neue Antriebsarten zur Dekarbonisierung des Schienenverkehrs zur Verfügung



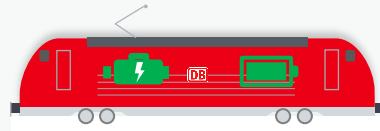
Elektromotor

Brennstoffzelle



- Einsatz auf **längeren oberleitungsfreien Strecken**
- Bis zu **600 km Reichweite**
- Aufbau eines **Wasserstofftankstellennetzes** erforderlich
- Mit grünem H₂ lokal **emissionsfreier Betrieb**
- Kosten für grünes H₂ bestimmen maßgeblich **Wirtschaftlichkeit**

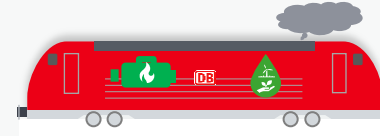
Batterie



- Überbrückung **kurzer oberleitungsfreier Abschnitte** aufgrund Batteriekapazität
- **Nachladung während der Fahrt** und in Bahnhöfen durch Oberleitungsinseln
- Komplet **emissionsfreier Betrieb** möglich
- Wartungsfreundlich aber **kostenintensive Batterietechnologie**

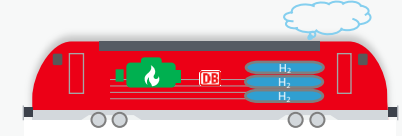
Verbrennungsmotor

Alternative Kraftstoffe



- **Beibehaltung Reichweite** ohne aufwendige Fahrzeuganpassungen
- **Herstellung sehr energieintensiv**
- Kraftstoffe nur in **geringen Mengen** verfügbar
- **klimaneutraler Betrieb** von Bestandsfahrzeugen
- Kraftstoffkosten **deutlich teurer** im Vergleich zu fossilem Diesel

Wasserstoff/Ammoniak



- Einsatz für **Verkehre mit hohen Lasten**
- Verbrennungsprozess erzeugt mit entsprechender Abgasbehandlung **keine schädlichen Emissionen**
- Neben Dieselsubstituten **kosteneffiziente Umrüstmöglichkeit** für Bestandsfahrzeuge

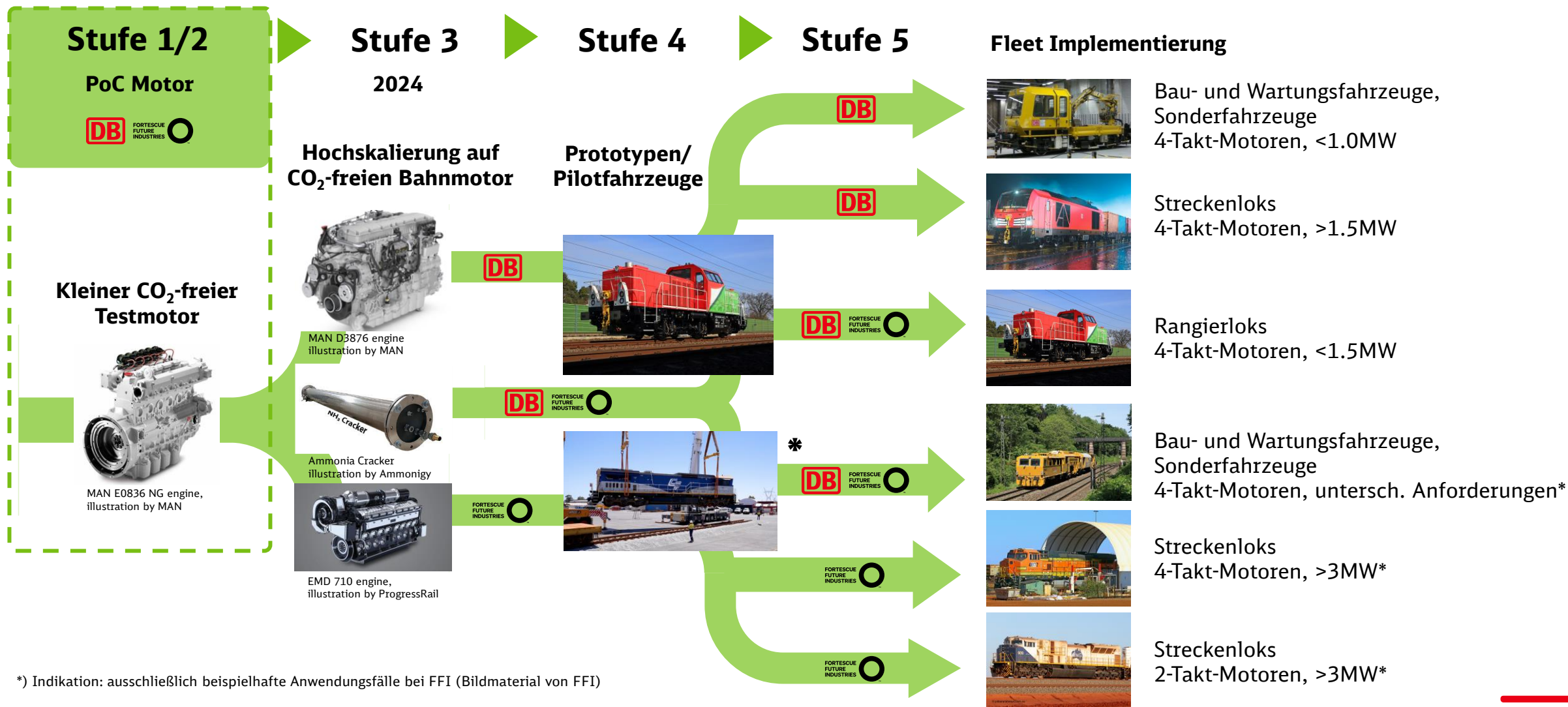
CO₂-Neutralität in allen Varianten nur bei Nutzung regenerativer Energien möglich

Kooperation | DB entwickelt eine Ammoniak-Wasserstoff-Motorantrieb in Kooperation mit Fortescue Future Industries (FFI) und weiteren Partnern



- Kooperation mit australischem Energiekonzern Fortescue Future Industries (FFI) zur neuen Motortechnologie soll herkömmliche Dieselmotoren ersetzen
- Initiiert zwischen den Vorständen von DB und FFI, arbeitet das Team seit Anfang 2022 in einem Testlabor in Deutschland an einem kleineren Testmotor mit wissenschaftlichen Partnern
- Eine weitere Zusammenarbeit zwischen beiden Häusern ist auch für das Hochskalieren der Technologie auf einen Bahngroßmotor in 2024 geplant. Ebenfalls wird der globale Transport von grünem Wasserstoff/Ammoniak untersucht.

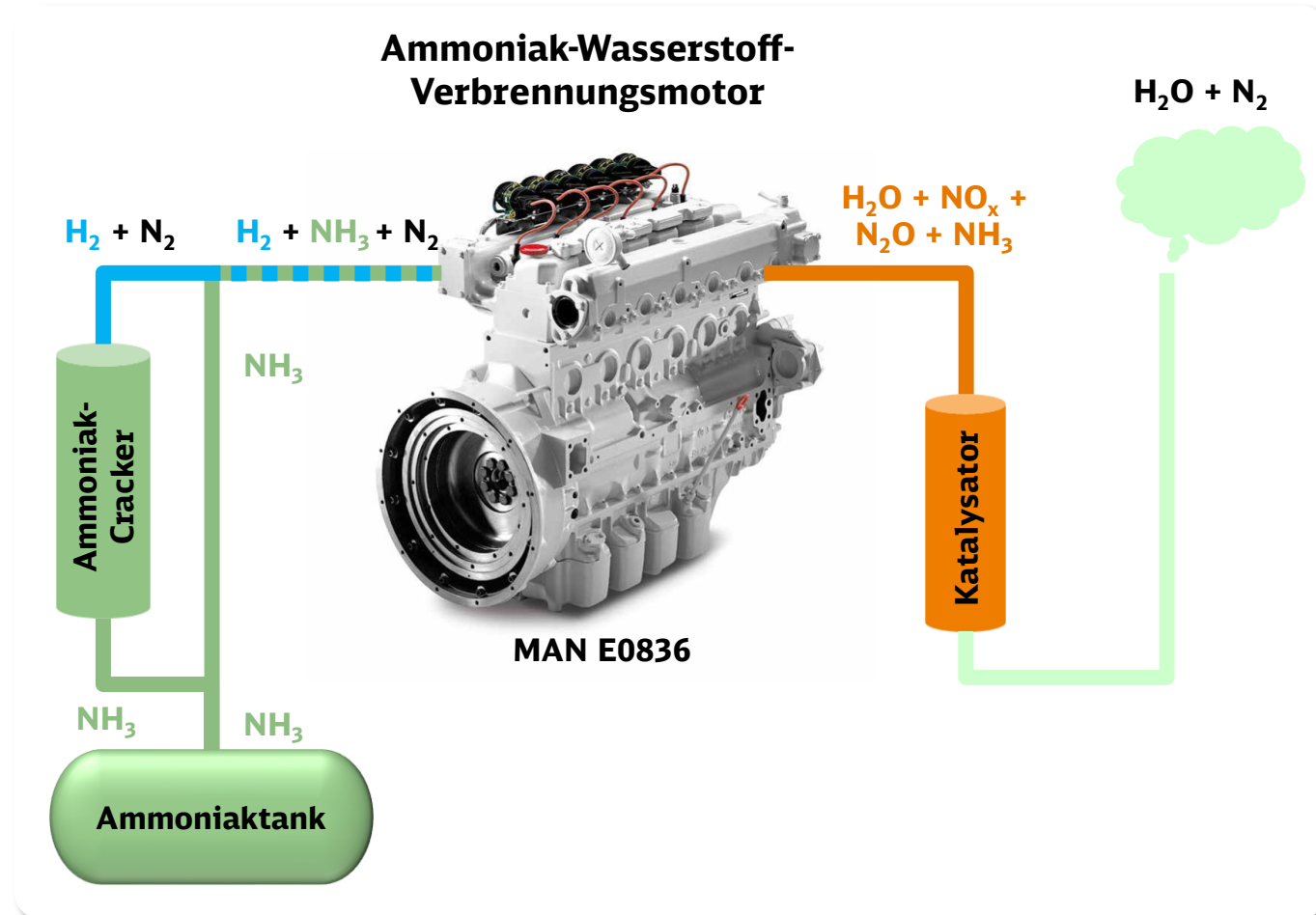
Projektansatz | Das Projekt zur Entwicklung des NH₃-H₂-Motorantriebs erfolgt in mehreren Stufen, um mit technologischen Risiken besser umgehen zu können.



Stufe 1/2 | Technologieentwicklung Ammoniak-Wasserstoff-Motor: Eine schadstofffreie Alternative für den Schienenverkehr



Technologie & Systemaufbau



Projektpartner



- Hauptsponsor und Projektleitung
- Spezifikation der Entwicklungs- und Testvorgaben



- Co-Sponsor



- Entwicklung des Ammoniak-Crackers und Anlagensteuerung
- Versuchsdurchführung



- Modellierung und Simulation Motor und Abgasnachbehandlung



- Messtechnik und Testbegleitung



- Entwicklung Abgasnachbehandlungssystem

Einblick | Nach Teillasttest wurde nun erfolgreich die Volllasttests gestartet, bisher ohne unüberwindbare Hürden

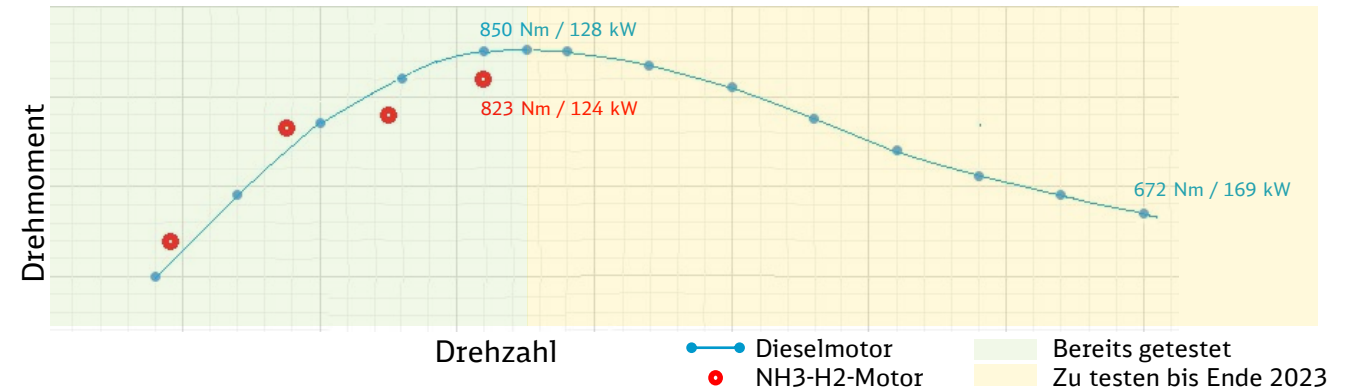


Prüfstands Aufbau



Projektstatus

- Motor ist auf Ammoniak-Wasserstoff-Gasbetrieb umgerüstet
- Teillastbetrieb (bis 50%) erfolgreich durchgeführt
- Tests mit Last bis zum maximalen Drehmoment laufen derzeit und Volllasttests geplant
- Tests mit verschiedenen $\text{NH}_3\text{-H}_2$ Mischungsverhältnissen erfolgt
- Messung der Abgasemissionen ohne auf Ammoniakchemie angepassten Katalysator für NO_x , N_2O und NH_3 erfolgt (Baseline)
- Abgasnachbehandlungssystem (AGNS) derzeit in Entwicklung
- AGNS-Integration geplant für Dezember 2023



Warum auch Ammoniak | Ammoniak als möglicher, grüner Kraftstoff der Zukunft bringt Vorteile und Herausforderungen mit sich



Vorteile: Ammoniak (NH₃)...



...**ist Kohlenstoff-frei** und kann auf mit grünem Wasserstoff auf Basis von erneuerbaren Energien hergestellt werden



...**wird** seit Jahrzehnten **großindustriell hergestellt**, wodurch auch eine Skalierbarkeit von Bedarfen als Kraftstoff denkbar ist



...**hat** im Vergleich zu Wasserstoff (komprimiert oder flüssig) **eine hohe volumetrische Energiedichte**.



...**lässt sich einfach transportieren**, auch global. Die DB hat bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Transport auf der Schiene.



...**könnte zukünftig** durch Skalierbarkeit, Transportvorteile und durch die hohe Energiedichte **günstiger als andere grüne Kraftstoffe** sein

Herausforderungen: Ammoniak (NH₃)...



...**ist als Kraftstoff im Bahnwesen noch unbekannt** und somit eine Zulassung des Antriebs aufwendig.



...**ist ein Gefahrenstoff** und gesundheitsschädlich. Beim Umgang müssen daher besondere Schutzmaßnahmen eingehalten werden



...hat enge Zündgrenzen und **verbrennt allein schlecht**. Daher wird im Motor ein Zündmittel notwendig: Wasserstoff



...**produziert bei der Verbrennung Luftschadstoffe** (NO_x und N₂O). Diese müssen nachträglich beseitigt werden.



...als Kraftstoff **braucht eine neue Betankungsinfrastruktur**. Diese ist allerdings weniger aufwendig als bei Wasserstoff.



Daniel Koenig
Principal Rail Engineer

DB Engineering & Consulting GmbH
Part of DB E.C.O. Group

Level 50, 120 Collins Street
Melbourne VIC 3000, Australia

E-Mail: daniel.koenig@db-eco.com

Daniel König | Principal Rail Engineer

Daniel König ist bereits seit 23 Jahren für die Deutsche Bahn in verschiedenen Rollen tätig. Er ist ein auf Verkehrsinfrastruktur spezialisierter Ingenieur und ein Spezialist für neuartige Bahntechnologien. Neben Projekten in Deutschland, bringt er sein Know-how auch im Ausland ein und unterstützte Projekte in Australien, Indien, Brasilien und den USA.

Seit 13 Jahren beschäftigt er sich mit der Entwicklung und Erprobung von alternativen Antriebssystemen und Energieversorgungslösungen. Seine Tätigkeit umfasst Machbarkeitsuntersuchungen und Simulationen von Bahnsystemen mit neuen Antrieben und neuer Infrastruktur, die Umsetzung von Pilotprojekten sowie die Begleitung der Flottenintegration von innovativen Lösungen.

Aktuelle Projekte sind beispielsweise:

- H2goesRail: Eine wasserstoffbasierte Mobilität für den Regionalverkehr (Brennstoffzellentriebzug, Wasserstoffinfrastruktur und Erprobungsbetrieb)
- BEMU Pfalz: Umstellung der Triebzugflotte von Diesel- auf Batteriebetrieb inkl. Nachladeinfrastruktur
- Ammoniak-Wasserstoff-Motor: Eine CO₂-freie Antriebslösung für Dieselfahrzeuge